

第 I 部門

動的平板載荷実験に基づく地盤最表層の S 波インピーダンス測定法の開発

京都大学工学部地球工学科	学生員	○江口	拓生
京都大学防災研究所	正会員	後藤	浩之
立命館大学理工学部	非会員	川方	裕則
京都大学防災研究所	非会員	土井	一生
三井住友建設（株）	正会員	高橋	直樹
京都大学防災研究所	正会員	澤田	純男

1. はじめに

S 波インピーダンスは地盤の密度と S 波速度の積で表される。これは、地盤の増幅特性や地盤と構造物との間の逸散減衰を表現することが知られており、重要な地盤物性値である。現在、地盤の S 波インピーダンスは密度と S 波速度をそれぞれ測定することで間接的に求められている。しかし、これらの測定はボーリング孔を必要とするなど、手軽に実施することができない。そこで Goto et al.(2015)は、平板を用いて手軽に地盤最表層の S 波インピーダンスを直接測定する方法を提案し、数値実験によって検証した。本研究は、既往の研究(Goto et al.(2015))による S 波インピーダンスの測定法を検証する実験を行い、データの再現性を向上させるため新たに改良法を提案する。

2. 実験概要

既往の研究では、S 波インピーダンスを測定するため、地表に置かれた平板を加振した際に加振速度と、地盤から平板に働く垂直反力を利用している。本研究では、加振速度と地盤反力を測定するために図 1 のようなシステムにより実験を行った。加振速度 $\dot{u}$ と地盤反力 P_z は、平板(質量 m)に取り付けられた加速度計のデータ a と、加振器と平板の間の反力を測定するロードセルのデータ l から、周波数 f 毎に以下のように求める。

$$\dot{u}(f) = a(f)/2\pi f i$$

$$P_z(f) = l(f) - ma(f)$$

表 1 のように、計 8 種類の地盤を作成して実験を行った。地盤の密度と S 波速度はそれぞれ独立に測定し、その積を実際の地盤の S 波インピーダンスと考える。

また、円盤のサイズは半径 45mm と 60mm の 2 種類を用いている。

3. 既往の測定法による結果

既往の研究では、加振周波数 f を徐々に変えながら周波数毎に加振速度と垂直反力の位相差と振幅比を求めている。周波数を上げると位相差が減少し、位相差が 0 になる周波数 $\tilde{f}$ が現れる。その周波数における振幅比が、S 波インピーダンス $\rho\beta$ に以下のように比例することが数値実験によって確かめられた。

$$P_z(\tilde{f})/\dot{u}(\tilde{f}) = (2.2788\pi a^2)\rho\beta$$

実験データから振幅比を求める過程を図 2 に示す。

以上の方法で測定された S 波インピーダンスを図 3 に示す。横軸が実際の地盤の S 波インピーダンス、縦軸が測定値を表す。全体的に過小評価であり、かつ地盤番号 4 では位相差が 0 になる周波数を見つけることができないため、評価できない。この原因は主に以下の 2 つが考えられる。1 つ目は反射波の影響である。実験を行う土槽が半無限地盤を表現できるほど大きくないため、土槽の側面で波が反射し、特定の周波数で地盤が共振する影響が考えられる。2 つ目は、計測ノイズの影響である。本研究では一定のサンプルレートでデータを取得しているため、低周波数側では振幅、高周波数側では位相の精度が相対的に悪い可能性が考えられる。低周波数側では位相、高周波数側では振幅のデータが相対的に精度が高いと考えられるため、これを利用した改良法を提案する。

4. 改良法の提案

既往の測定法では位相差が 0° になる周波数 $\tilde{f}$ における振幅比を求めていたのに対し、改良法では位相差が 30° になる周波数 f^* を扱う。概要を図 4 に示す。このとき $f^* \leq \tilde{f}$ となるため、位相差に関して低周波数側で議論している。続いて、周波数区間 $f^* \leq f \leq 2f^*$ において振幅比の平均値を求める。半無限地盤の数値解析では、この周波数区間において位相差が 0° になる周波数 $\tilde{f}$ が存在することが多く、既往の測定法で用いられる振幅比が含まれる。また、振幅比に関して高周波数側で議論していることになる。さらに、周波数区間で平均をとることによって、反射波による特定の周波数の影響を緩和することができている。求めた振幅比を、既往の研究と同様に係数で除することによって、S 波インピーダンスの測定値とした。

図 5 は改良法により測定された S 波インピーダンスを示している、図 3 と比較すると測定精度が改善されていること、既往の測定法では評価できなかった地盤番号 4 のケースについても評価できていることがわかる。

参考文献

Goto, H., Tanaka, N., Sawada, S., Inatani, H.: S-wave impedance measurements of the uppermost material in surface ground layers: Vertical load excitation on a circular disk, Soils and Foundations, 55, pp. 1282-1292, 2015.

表 1 実験地盤の物性値

地盤番号	状態	層厚 [mm]	S波速度 [m/s]	密度 [kg/m ³]
1	A 飽和	210.4	59.2	1910
	B	182.4	54.9	1920
2	A 飽和	92.8	N/A	1890
	B	89.5	67.1	1920
3	A 不飽和	211.4	83.3	1760
	B	181.9	84.7	1880
4	A 不飽和	91.5	N/A	1870
	B	87.9	96.2	1920

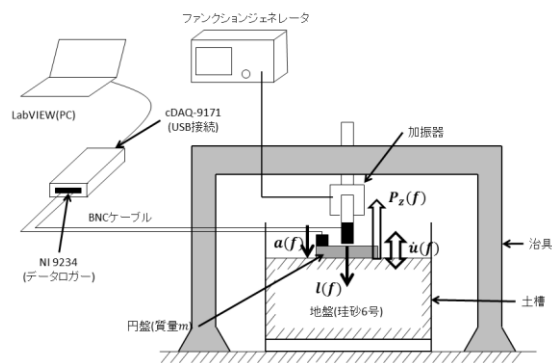


図 1 実験システムの全体図

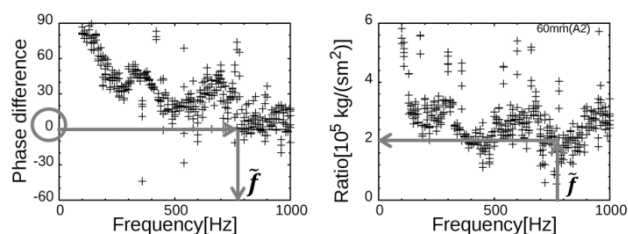


図 2 既往の研究の測定法

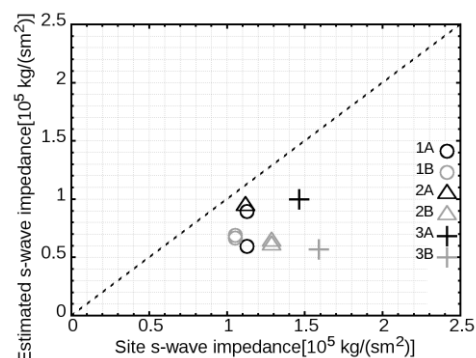


図 3 既往の方法による測定結果

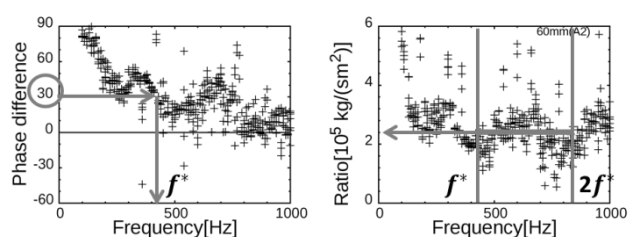


図 4 改良された測定法

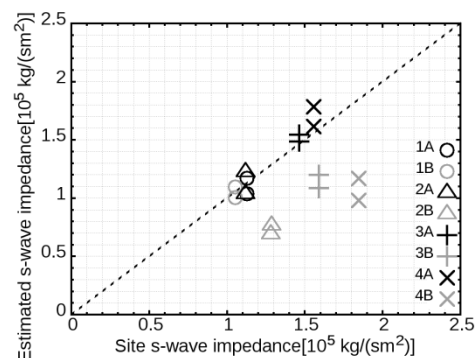


図 5 改良方法による測定結果